

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Využití elektrodrátového řezání

Use Wire Cutting

Student:

Bc. Jaroslav Dušek

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

Ostrava 2014

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jaroslav Dušek**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Specializace: 20 Strojírenská technologie
Téma: **Využití elektrodrátového řezání**
Use Wire Cutting

Zásady pro vypracování:

1. Obecná charakteristika daného problému.
2. Technologie výroby velmi složitých součástí.
3. Návrh výroby vybraného střížníku.
4. Diskuse experimentů.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] PERNIKÁŘ, J.; TYKAL, M.; VAČKÁŘ, J. *Jakost a metrologie, Část metrologie*. Brno : VUT v Brně, 2004. 151 s. ISBN 80-214-199-0.
- [2] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábání*. 1. vyd. Žilina : Žilinská univerzita v Žiline, EDIS, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [3] HUMIENNY, Z. a kol. *Specyfikacja geometrii wyrobów (GPS), Podręcznik europejski*. Warszawa : Wydawnictwo Naukowo – Techniczne, 2004. 527 s. ISBN 83-204-2954-4.
- [4] ČSN EN ISO 4287. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Pojmy, definice a parametry struktury povrchu*. 1997.
- [5] ČSN EN ISO 4288. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu*. 1997.

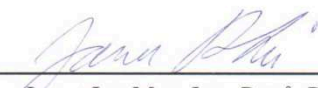
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.**

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014




Ing.et Ing.Mgr. Jana Petrů, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školního představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- беру на ве́домі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s opatřením užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákonů o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 19.5.2014

Jaroslav Dušek
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Jaroslav Dušek

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Jaroslav Dušek

Petrovice 67

563 01 Lanškroun

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě19.5. 2014.....

.....*Jaroslav Dušek*.....
podpis studenta

Poděkování

Děkuji doc. Ing. Vladimíru Vrbovi, CSc. vedoucímu mé diplomové práce, za odborné vedení a za pomoc při zpracování práce.

Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Romanu Šítkovi zaměstnanci firmy Fortell s.r.o. za pomoc při experimentu a poskytnutí literárních podkladů.

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Dušek, J. Využití elektrodrátového řezání: diplomová práce. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2014, vedoucí práce: doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

Diplomová práce Využití elektrodrátového řezání, se zabývá výrobou složitého střížníku, který je zhotoven pomocí elektrodrátového řezání na stroji Agie Classic 2S. Výroba střížníku byla realizována ve firmě Fortell s.r.o.

Práce popisuje problémy zpracování střížníku, technologii výroby složitých součástí a návrhy. Pro práci byla vybrána a popsána nekonvenční metoda – elektroerozivního obrábění.

Praktická část je zaměřena na výrobu střížníku, kam spadá zhotovení programu, samotné obrábění, technologický postup a výpočet. Nakonec byla daná metoda zpracování technicko – ekonomicky zhodnocena.

Klíčová slova: elektroerozivní obrábění, elektrodrátové řezání, střížník, Agie

ANNOTATION OF MASTER THESIS

Dusek, J. The Usage of an Electro Wire Cutting: Master Thesis. Ostrava: VSB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machine Parts and Mechanism, 2014 Supervisor: doc. Ing. Vladimír Vrba.

Diploma thesis called The Usage of an Electro Wire Cutting is focused on the manufacturing process of shear tool which is done by an electro wire cutting machine Agie Classic 2S. The production of shear tool was carried out in the company Fortell s.r.o.

Diploma thesis called The Usage of an Electro Wire Cutting is focused on the manufacturing process of shear tool which is done by an electro wire cutting machine Agie Classic 2S. The production of shear tool was carried out in the company Fortell s.r.o.

The work describes the processing of shear tool, production technologies of components and design. The unconventional method – EDM was chosen and described in this thesis. The practical part is focused on the shear tool production, which includes machining itself, technology process or calculation. Finally, the outline of a processing method was evaluated from technical – economic point of view.

Keywords: EDM, Electro Wire Cutting, Shear Tool, Agie

Obsah

Seznam použitých zkratek	9
1. Úvod.....	10
2. Obecná charakteristika daného problému	11
2.1 Historie a organizační struktura společnosti FORTELL s.r.o.....	12
3. Technologie výroby velmi složitých součástí	15
3.1 Úvod do technologie	15
3.2 Elektroerozivní obrábění.....	16
3.2.1 Princip elektroerozivního obrábění:.....	16
3.2.2 Charakteristika výbojů	20
3.2.3 Generátory výbojů	22
3.2.5 Drsnost a přesnost obrábění	29
3.2.6 Materiály nástrojových elektrod	29
3.3 Elektroerozivní drátové řezání	30
4. Návrh výroby vybraného střížníku	36
5. Diskuse experimentu	42
5.1 Zhotovení programu	42
5.2 Obrábění - výroba	44
5.3 Technologický postup	47
5.4 Výpočet.....	48
6. Technicko – ekonomické zhodnocení	49
7. Závěr.....	50
8. Seznam literatury	51

Seznam použitých zkratek

a	Vzdálenost mezi elektrodami	μm
A_w	Rychlost drátu	$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$
Cu	Měď (chemická značka)	-
$d_{1\text{kg}}$	Cena 1 kg drátu	Kč
$d_{\text{spotřeba}}$	Cena spotřebovaného drátu	Kč
F_w	Napětí drátu	MPa
HRC	Tvrdost materiálu podle Rockvela	-
I	Proud	A
$m_{\text{cívka}}$	Hmotnost cívky	kg
$m_{1\text{m}}$	Hmotnost 1 m drátu	kg
$m_{\text{spotřeba}}$	Hmotnost spotřebovaného drátu	kg
Ofs	Přídavek na konturu (ofset)	μm
P	Tlak výplachu	Ba
P	Výkon	kW
Ra	Střední aritmetická úchylka profilu (drsnot povrchu)	μm
s	Délka spotřebovaného drátu	m
$s_{\text{cívka}}$	Délka drátu na cívce	m
Str	Strategie rohů	μm
t	Celkový čas řezání	s
v_p	Průměrná rychlost drátu	$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$
v	Rychlost řezání	$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$
SiC	Karbid křemíku	-
WEDM	Wire Electrical Discharge Machining	-
Zn	Zinek (chemická značka)	-
ZrB ₂	Borid zirkonia	-
τ_s	Mez pevnosti ve stříhu (ve smyku)	MPa

1. Úvod

Jednou ze základních složek národního hospodářství je strojírenská výroba. Její úroveň podstatně ovlivňuje celou ekonomiku naší Země. Výroba je však závislá na organizačně technické vyspělosti a na dostupnosti strojů a nástrojů.

V dnešní době se vyrábějí velmi složité a přesné tvary součástí z obtížně obrobitelných materiálů. Velký důraz je kladen na kvalitu výrobku, výrobní čas a v poslední řadě na snižování nákladů. Podíl mechanického obrábění ve strojírenství se relativně snížil a byl nahrazen obráběním založeným na elektrických, chemických nebo fyzikálních principech. Elektroeroze řadíme mezi nekonvenční metody, které používáme k výrobě střížných nástrojů, různých dílů do forem. Prvního jevu elektroeroze, si všiml a zároveň zaznamenal fyzik Priestley v roce 1768. Tento jev byl v praxi použit mnohem déle sovětskými inženýry Lazarenkovými v letech 1938 – 1944 při obrábění elektricky vodivých těles. Po roce 1950 došlo k intenzivnímu využívání této metody a dnes patří mezi vyhledávané a používané metody [1] [2].

2. Obecná charakteristika daného problému

Diplomová práce byla řešena ve společnosti Fortell s.r.o., kde byl řešen hlavní úkol a to výroba složitého střižníku pomocí elektrodrátového řezání na stroji značky Agie Classic 2S. Po zhotovení vybraného střižníku následovalo vyhodnocení.



Obr. 1 Střižník



Obr. 2 Polotovár

2.1 Historie a organizační struktura společnosti FORTELL s.r.o.

Firma Fortell s.r.o. se zabývá zejména zakázkovou výrobou vstřikovaných plastových a lisovaných kovových dílů, a také konstrukcí a výrobou vstřikovacích forem na plast. V roce 1995 byla založena třemi pracovníky v Lanškrouně. Počátečním záměrem firmy byla konstrukce nástrojů, forem a obchodní činnost. Postupně se rozvíjela, vybudovala lisovnu kovů, lisovnu plastů a nástrojárnu. V roce 2007 byla zahájena výstavba nového výrobního závodu. O rok později probíhá stěhování všech středisek do nového závodu, kde pracuje momentálně 120 zaměstnanců. Dnes je společnost dodavatelem nástrojů, forem a dílů pro elektrotechnický, automobilový, zdravotnický a spotřební průmysl nejen v České republice, ale také v mnoha zemích Evropy (Holandska, Německa, Velká Británie, Dánska, Švédsko, Finsko) a dále USA a Japonsko [3].



Obr. 3a) Původní nástrojárna



Obr. 3b) Původní lisovna kovů



Obr. 3c) Původní vstřikovna plastů



Obr. 3d) Nový závod

Mezi hlavní cíle společnosti Fortell s.r.o. patří poskytovat shodné, spolehlivé, bezpečné, kvalitní a cenově přijatelné výrobky. Dále optimálně uspokojovat potřeby a požadavky stávajících a budoucích zákazníků, a v neposlední řadě minimalizovat dopady na životní prostředí [3].

Činnosti firmy jsou následovně rozděleny [3]:

Středisko 100

- obchodní činnost v oblasti nástrojů a forem, konstrukce těchto nástrojů a správa společnosti

Středisko 200

- lisování kovových dílů na lisovacích automatech TALO 25 a TPX 25



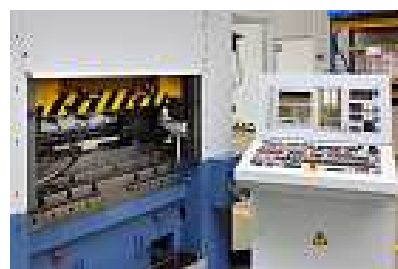
Obr. 3f) Lisovací automat

Středisko 300

- lisování kovových dílů z oceli (vč. nerezové oceli), mosazi, bronzu, mědi a hliníku na excentrických lisech řady LEN a LEK (Burkhardt STA 63/1000) o lisovací síle od 10 do 160 tun



Obr. 3g) Lisy



Obr. 3h) Lis

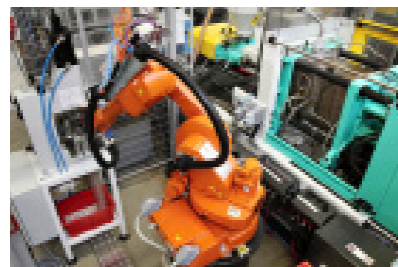
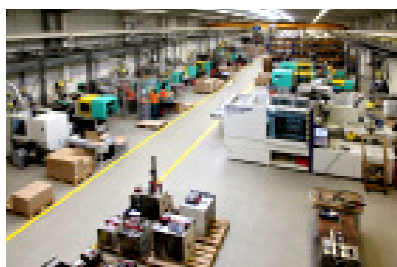
Středisko 400

- **nástrojárna**
 - výroba forem na plast, zinek, hliník, nástrojů pro tváření kovů za studena a náhradních dílů

- disponuje CNC obráběcími centry:
 - 3 osa vysokorychlostní obráběcí centra FIDIA HS664
 - MCV 750 A
 - MCFV 1680
- elektroerozivní stroje:
 - řezací stroje AgieCharmilles Cut 3000, Agiecut Classic 2S
 - hloubicí stroje Agietron Innovation 2 a hloubení startovacích otvorů Agiedrill
- ostatní stroje:
 - frézky, soustruhy, brusky naplocho

Středisko 500

- vstřikování plastických hmot, používají se moderní elektrické i hydraulické lisy od firem Arburg a Wittmann Battenfeld o uzavírací síle 35 – 300 tun a robotické systémy od firem ABB, Wittmann



Technologie používané při výrobě forem:

- Unigraphics NX8.5
- PEPS V7.0.22

Společnost je držitelem certifikátu řízení jakosti dle norem ISO 9001 a certifikátu systému environmentálního řízení společnosti dle norem ČSN EN ISO 14001:2005.

3. Technologie výroby velmi složitých součástí

3.1 Úvod do technologie

Na výrobu velmi složitých součástí se v dnešní době nejčastěji používá nekonvenční metoda obrábění. Do této metody řadíme elektroerozivní drátové řezání. Na rozdíl od klasické neboli konvenční technologie třískového obrábění, nevyužívá mechanické práce pro úběr materiálu. Je založena na fyzikálních principech [4].

Příklady materiálů polotovarů:

- nástrojové oceli (19552, 19571, 19436, 19312)
- rychlořezná ocel (19830)
- tvrdokovy

Výhody nekonvenční technologie:

- obrobitelnost nezávisí na mechanických, ale fyzikálních vlastnostech
- bezsilové obrábění s minimálním tepelným zatížením obrobku
- výroba přesných součástí

Nevýhody:

- malá produktivita
- vysoká energetická náročnost

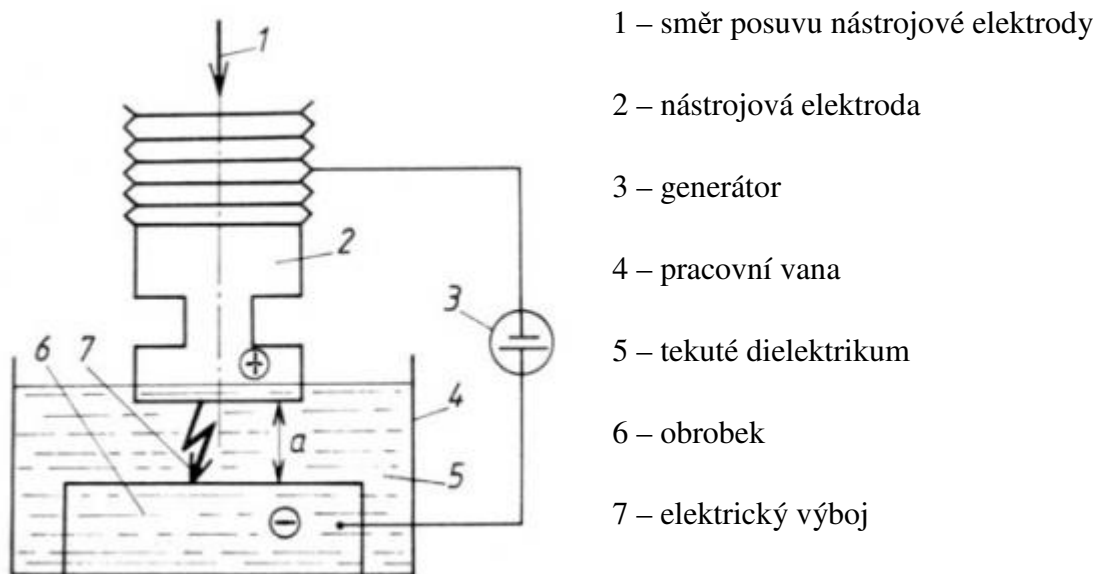
Základní důvody pro zavádění nekonvenční metody jsou rostoucí nároky na:

- tvarové složitosti součástí, střížných a tvářecích nástrojů
- konstrukci strojních součástí (zvyšování podílu těžkoobrobitelných materiálů – žárovevných, vysokopevnostních)
- výroba přesných miniaturních součástí

3.2 Elektroerozivní obrábění

3.2.1 Princip elektroerozivního obrábění:

Mezinárodní označení elektroeroze je EDM (Elektro Discharge Machining). Tímto procesem se dosahuje úběru materiálu elektrickými výboji mezi anodou a katodou ponořenými do tekutého dielektrika. Anodu nejčastěji tvoří nástrojová elektroda, katodu obrobek. Oba materiály musí být z elektricky vodivého materiálu. Kapalina disponuje vysokým elektrickým odporem. Cílem obrábění je dosáhnout opakovanými výboji na jedné elektrodě (obrobku) docílit maximálního úběru materiálu. Následně na druhé elektrodě (nástroji) co nejmenšího úbytku [5].

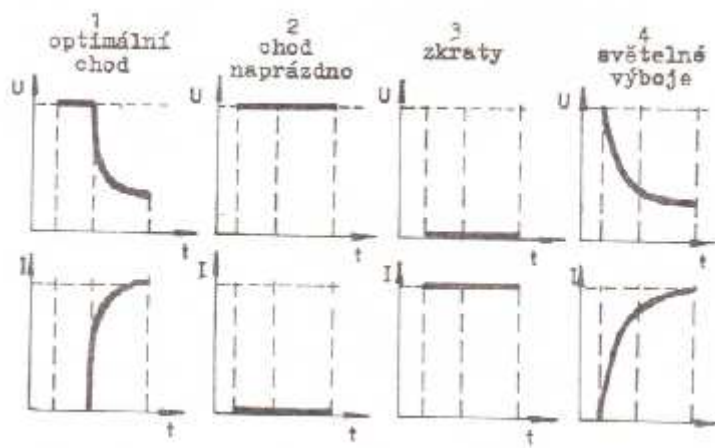


Obr. 4 Princip zařízení pro elektroerozivní zařízení [5]

Elektrody se na začátku situace nacházejí ve vzdálenosti 1 až 500 μm . Zapojí se na zdroj stejnosměrného napětí s vnitřním odporem. Pracovní místo se zaplní dielektrickou kapalinou. V kapalině se uskutečňují tzv. před výbojové pochody. Pochody končí, když prorazí dielektrikum. V dalším stadiu jsou ukončeny elektrickým výbojem. Z obráběného obrobku se odtavují a zároveň zplyňují částice materiálu, kdy při výboji vznikají vysoké

teploty, které dosahují hranici 10000°C . Generátor nám udá trvání, působení i povahu výboje [6].

Servomechanismus jedna z důležitých částí elektroerozivního stroje. Jejím úkolem je nastavit správnou vzdálenost elektrod (**vzdálenost a** obr. 4) a zajišťovat plynulost erozivního úběru. Na obr. 5 jsou uvedeny stádia strategie eroze [7].



Obr. 5 Stádia eroze [7]

Proces lze ovlivnit:

- vhodným vybráním materiálu nástrojové elektrody
- způsobem dodání energie – frekvencí (dobou), polaritou, zapojení obvodu
- volbu pracovního prostředí – dielektrikum

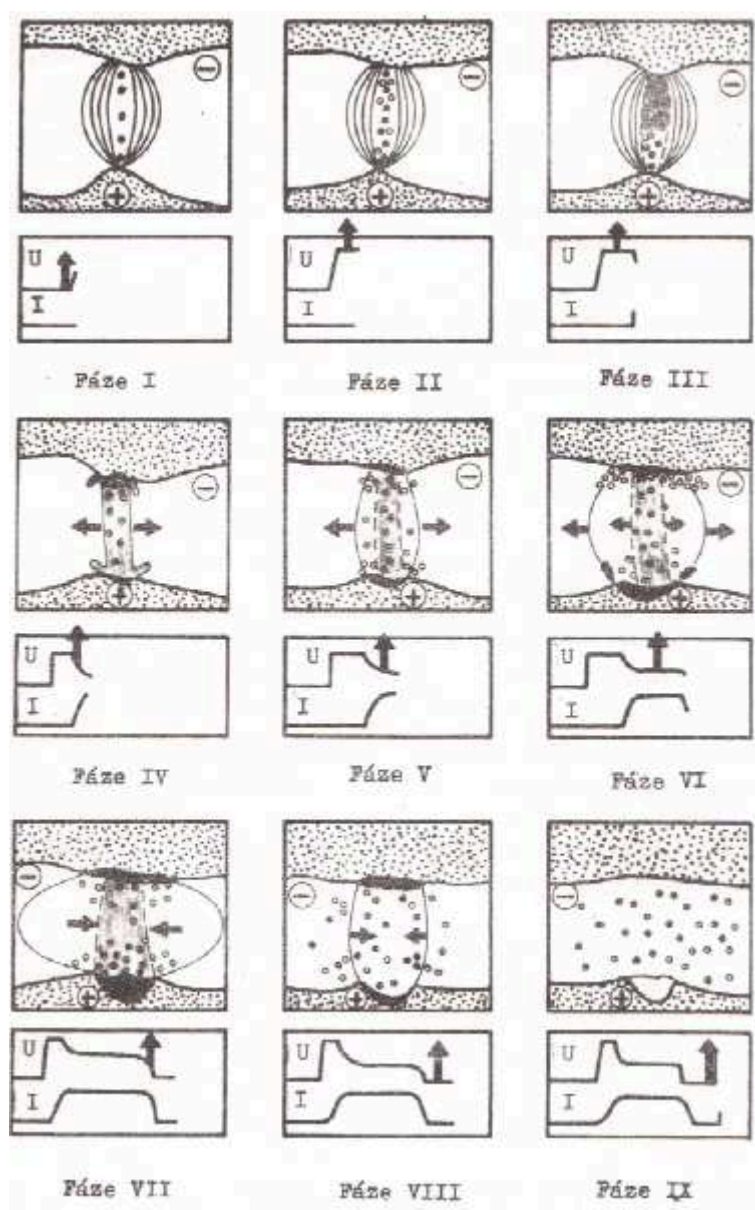
Rozeznáváme dva druhy výbojů dodávané do místa výboje:

- elektrickou jiskru
- elektrický výboj (impuls) – nestacionární výboj

Časový průběh jednotlivých fází výbojů, proudů a napětí [7]:

- Fáze 1: Po přiložení napětí na elektrody se začne vytvářet elektrické pole, v důsledku nerovností elektrod se v místě minimální vzdálenosti dostávají vzniklé nečistoty.
- Fáze 2: Přiložené napětí dosahuje maximální hodnoty, nečistoty vytvářejí můstky. Můstky jsou potřebné na zapálení výboje.
- Fáze 3: Působením elektrického pole se začínají ze záporně nabitých elektrod uvolňovat elektrony. V prostoru se srážejí s neutrálními částicemi a třídí se. Následně v kanále vznikají kladné a záporné ionty.
- Fáze 4: Ionty obalují střed budoucího výbojového kanálu a klesá jeho odpor. V prostorách mezi elektrodami začíná protékat proud, roste hustota a vytváří se plasmový kanál. Na povrchu elektrod roste teplota, proud a klesá napětí na elektrodách.
- Fáze 5: Dielektrikum se odpařuje a z toho vzniká plynová bublina. Následkem narážení částic se uvolňuje velké množství tepelné energie. Působením elektronů na anodu a iontů na katodu dochází k ohřevu ohraničených míst obou elektrod, jejich tavení a odpařování.
- Fáze 6: Dochází k intenzivní expanzi bubliny a tavení s vypařováním.
- Fáze 7: Snížení dodávky tepla vyvolá v mezielektrodové mezeře pokles proudu a přeruší se přívod energie. Pokles teploty odstartuje implozi plynové bubliny. Síly elektrického proudu a pokles tlaku plynů způsobují vznik kráteru.

- Fáze 8: Hodnoty napětí v mezielektrodové mezeře a pracovního proudu klesá na nulovou hodnotu. Následně zánik bubliny a výboje. Dielektrikum vniká do kráteru, kde ochlazuje taveninu, zabraňuje průniku tepla do vrstev kovu. V kapalině zůstává odebraný materiál, ve formě spalin, mikročástice, které mají tvar kuliček. Objem kráteru bývá mezi hodnotami $10^{-3} - 10^{-5}$ mm.
- Fáze 9: Poslední fáze je začátkem nového výboje.

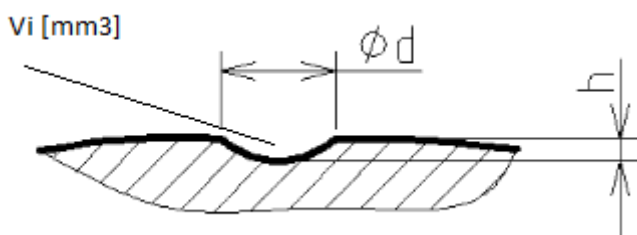


Obr. 6 Časový průběh fází výboje, napětí a proudů [7]

3.2.2 Charakteristika výbojů [7]

Velikost a tvar kráteru, který je vytvořen elektrickým výbojem, je dán velikostí vybíjecí energie. Vzniklý kráter má značný vliv na drsnost opracované plochy, přesnost rozměrů a na účinnost procesu. Rozměry kráteru tedy **průměr d**, **hloubka h** závisí na hodnotě přivedené energie a době výboje.

Z této rovnice lze spočítat množství odebraného materiálu, který je úměrný k vybíjecí energii.



Obr. 7 Profil vzniklého kráteru [7]

Vzorec

$$V_i = K \cdot W_i \quad [\text{mm}^3]$$

$$W_i \text{ [J]} - \text{energie výboje, kde} \quad \underline{W_i = U_e \cdot I_e \cdot t_i} \text{ [J]}$$

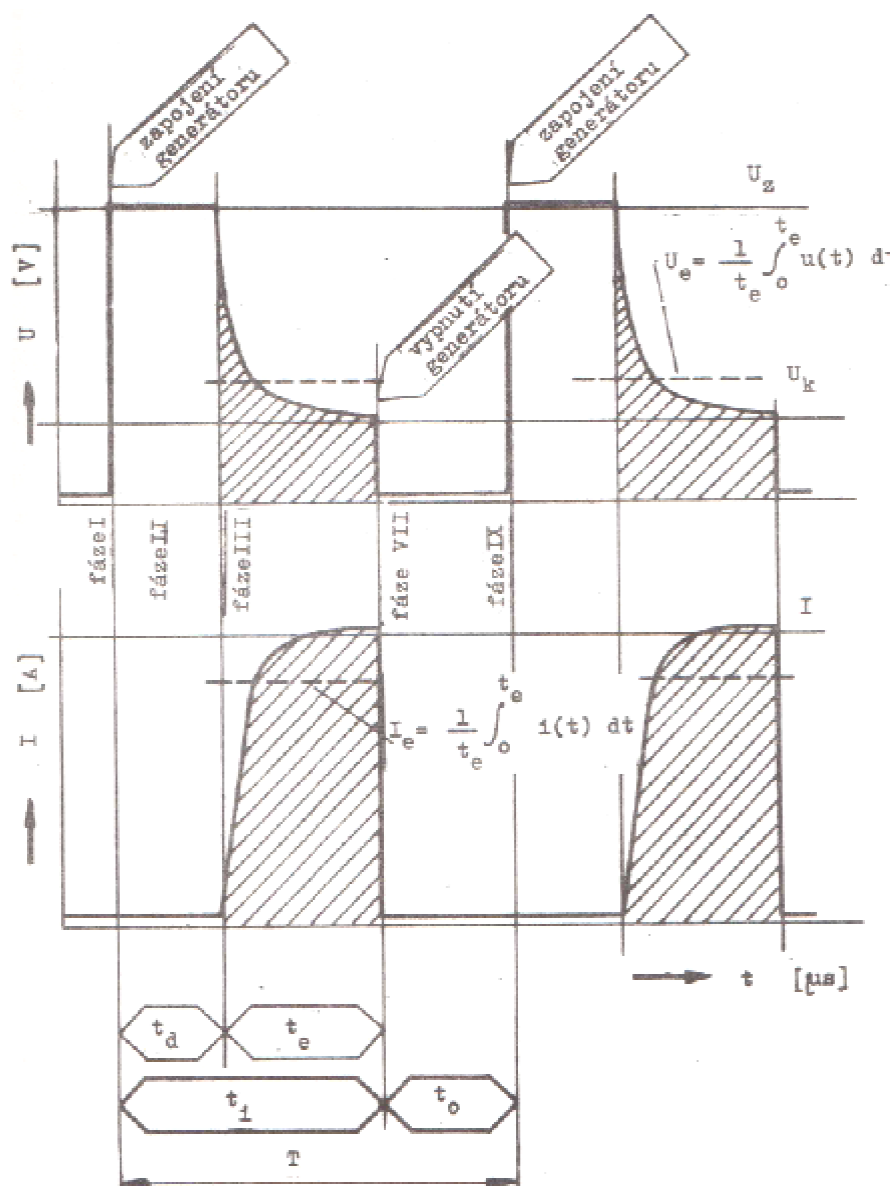
K – součinitel (různé hodnoty jak pro katodu tak anodu)

U_e – střední vybíjecí napětí

I_e – střední vybíjecí proud

t_i – doba impulsu

Na obr. 8 jsou zobrazeny nejčastější tvary výboje za pomoci polovodičového generátoru.



Obr. 8 Průběh jednotlivých fází, tvary výbojů [7]

U - napětí $[V]$,

t_o – doba pausy

I - proud $[A]$,

U_z – napětí na prázdko,

U_k – napětí při zhasnutí výboje,

t_d – doba zpoždění výboje,

Elektrické výboje se dělí do 2 skupin podle časového průběhu dodávané energie do místa výboje:

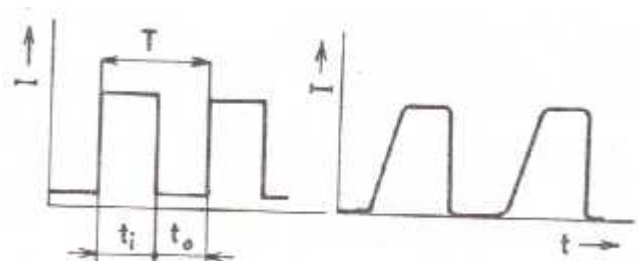
- výboje elektrickou jiskrou ($t_i = 10^{-4} - 10^{-6}$ s)
- výboje krátkodobým nestacionárním elektrickým obloukem ($t_i > 10^{-4}$ s)

3.2.3 Generátory výbojů [7]

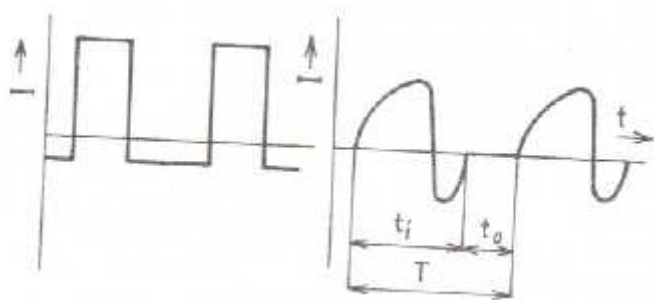
Můžeme říci, že parametry impulsů patří k nejdůležitějším charakteristikám procesu, které určují technologické ukazatele obrábění.

Proudové impulsy dělíme do 3 skupin:

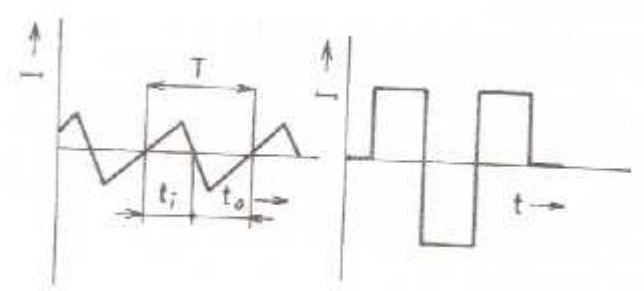
- jednopólové impulsy (použití pro elektroimpulsní obrábění) obr. 9a
- střídavé impulsy nesymetrické (obr. 9b)
- dvoupólové impulsy symetrické (pro elektrokotáční obrábění) obr. 9c



Obr. 9a Jednopolový impuls



Obr. 9b Střídavý impuls nesymetrický



Obr. 9c Dvoupólový impuls symetrický

Generátor je elektronická část stroje, která vytváří jednotlivé impulsy, udává trvání, působení i povahu výboje.

Rozeznáváme 2 druhy generátoru:

- generátory závislé
 - RC nebo RLC (obr. 10)
- generátory nezávislé
 - mechanické kolektorové (obr. 12), bezkolektorové
 - tranzistorové širokorozsahové (obr. 13)

RC a RLC generátory

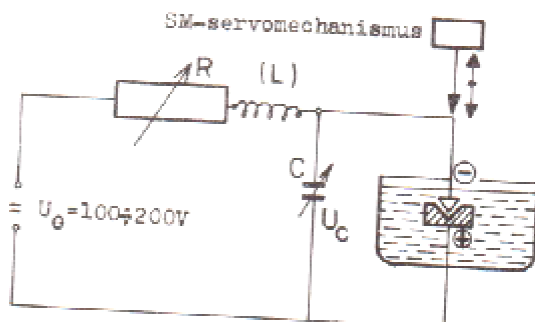
Nejstarší zdroje pro vytváření výbojů. Činnost těchto generátorů spočívá v opakovaném vybíjení a nabíjení kondenzátoru ze zdroje stejnosměrného napětí.

Výhody:

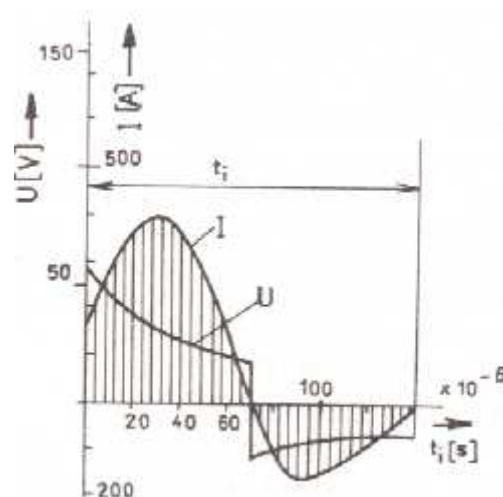
- jednoduchost a spolehlivost

Nevýhody:

- nízká produktivita
- omezená možnost regulace tvaru a frekvence výbojů



Obr. 10 Generátory RC, RLC [7]



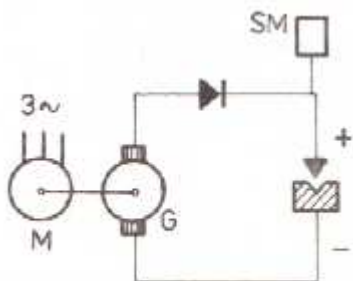
Obr. 11 Zachycení impulsů [7]

Mechanické kolektorové generátory

Princip kolektorového generátoru spočívá v tom, že vznikem pulsů dochází roztančením dynama za pomoci asynchronního motoru.

Nevýhody:

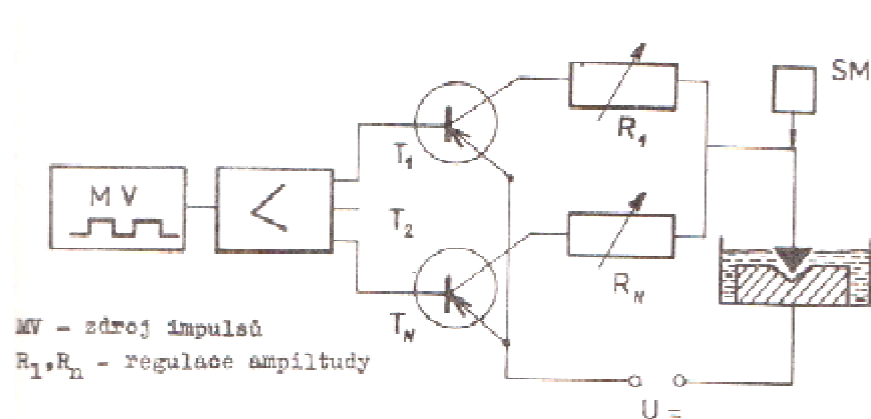
- hlučnost
- obtížná změna frekvence, která je dána otáčkami
- pro obrábění na čisto je potřeba dokončovacího generátoru



Obr. 12 Mechanický kolektorový generátor [7]

Tranzistorové širokorozsahové generátory

Generátory 2. generace zdrojů výbojů. Umožňují velké kolísání neboli variabilitu elektrických parametrů impulsů. Na elektrodách se objeví napětí po sepnutí tranzistoru, který je zapojen do série s jiskřištěm. Napětí se objeví za předpokladu, že mezielektrodová vzdálenost je dobrá pro jeho průraz a po dobu sepnutí tranzistoru protéká obvodem proud. Výboj se přeruší uzavřením tranzistoru.



Obr. 13 Tranzistorový generátor [7]

3.2.4 Dielektrikum

Je zapotřebí věnovat pozornost při volbě dielektrické kapaliny, která má značný vliv na celý erozivní proces [2].

Požadavky na kapalinu [2] [8]:

- 1) určitá průbojnost, ta zajistí dostatečný odpor mezi katodou (drát) a anodou (obrobek)
- 2) musí mít malou viskozitu a dobrou smáčivost
- 3) chemicky neutrální k zamezení koroze
- 4) nesmí vznikat zápach a jedovaté plyny
- 5) hygienická a ekologická nezávadnost a nízká cena

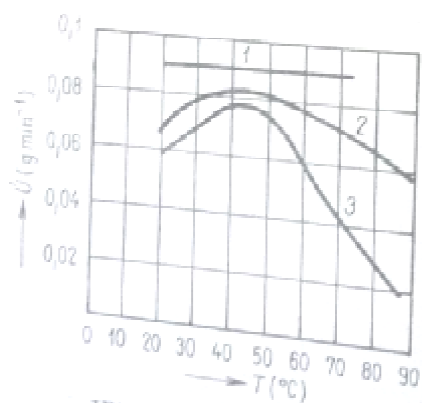
Dielektrikum má tyto funkce [8]:

- působit jako izolátor mezi elektrodami
- důležité je odvádět teplo z pracovního prostředí
- odstraňovat odebraný materiál z místa výboje
- ohraničovat místo výboje (výbojový kanál)

Druhy kapalin, které se používají:

- strojní olej
- transformátorový olej
- petrolej
- destilovaná voda
- deionizovaná voda

Dielektrikum se odvádí z pracovního prostoru do zařízení, kde se provádí čištění, chlazení kapaliny. Hlavním úkolem zařízení je očistit dielektrikum od nečistot, které vznikly při obrábění.



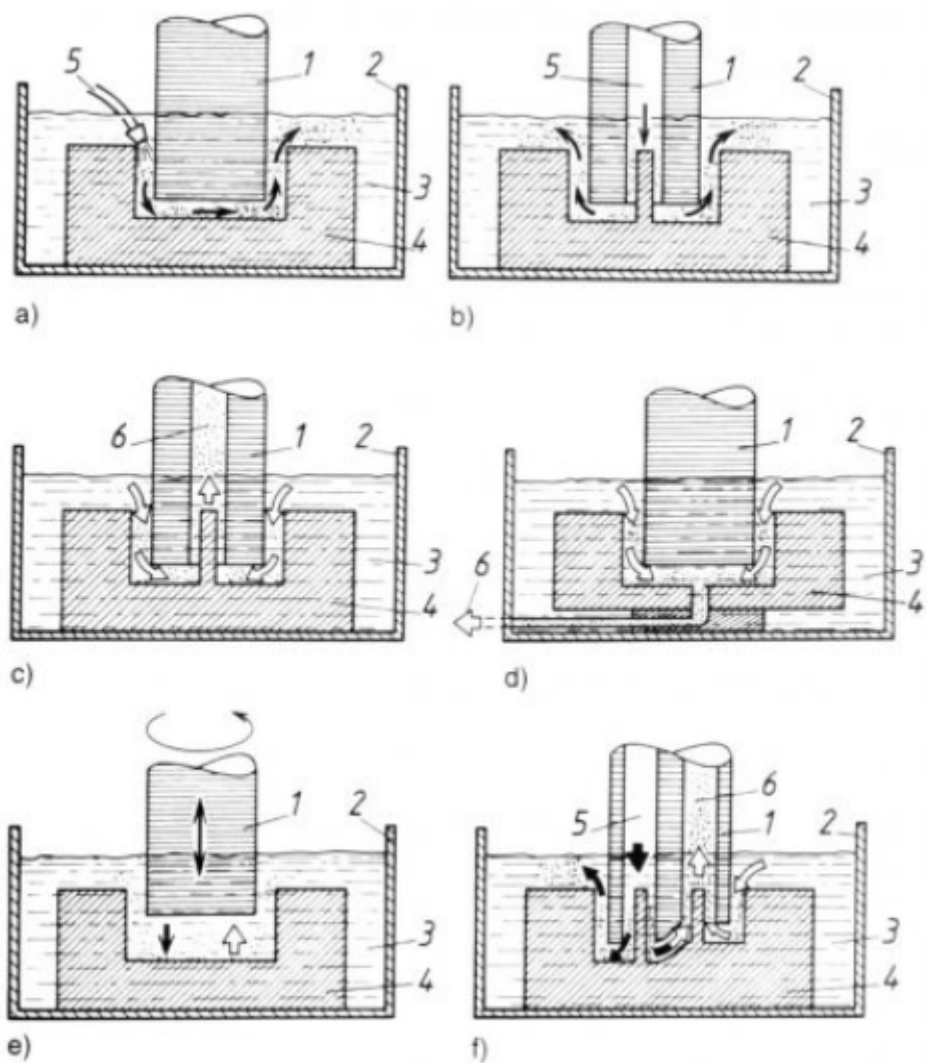
Obr. 14 Vliv teploty dielektrika na úběr materiálu [2]

Křivka: 1 - petrolej

2 - transformátorový olej

3 - strojní olej

Druhy vyplachování neboli přívod dielektrika mezi nástrojovou elektrodou a obrobek [8]:



Obr. 15 Přívod dielektrika mezi obrobek a nástrojovou elektrodou – vyplachování [8]

1 – nástrojová elektroda

2 – pracovní vana

3 – dielektrikum

4 – obrobek

5 – přívod dielektrika

6 – odsávání dielektrika

Druhy vyplachování (obr. 15) – popis:

a) vnější vyplachování

- Tento typ výplachu se používá při obrábění hlubších dutin v kombinaci s pulzním výplachem. Přívod kapaliny se řadí mezi nejobecnější způsob.

b) tlakové vnitřní vyplachování

- Nástroj opatřený otvorem, kterým se dodává dielektrikum rovnou do pracovní vany. Nevýhoda je, že se zhoršuje tvarová přesnost na bočních plochách.

c) vyplachování odsáváním

- Poskytuje velmi dobrou tvarovou přesnost.

d) Totožné s bodem c)

e) pulzní vyplachování

- Pulzní vyplachování je vhodné použít při výrobě složitých dutin. Dielektrikum je přiváděné do pracovního prostoru, když vyjíždí elektroda a při vyjíždění se vypne pracovní proud (zabránění bočních výbojů). Vyplachování je synchronizováno na zpětný pohyb elektrody.

f) kombinované vyplachování

- Kombinace tlakového vnitřního vyplachování s odsáváním.

3.2.5 Drsnost a přesnost obrábění [7]

Tab. 1 Způsob obrábění, přesnost a drsnost povrchu

Způsob obrábění	Přesnost [mm]	Drsnost povrchu Ra [μm]
opracování na hrubo, impulsní zdroje, velké energie výboje (hloubení)	$(\pm 0,02) - (\pm 0,5)$	$Ra > 6 \mu\text{m}$ $R_{\text{max}} \sim 25 \mu\text{m}$
normální opracování, impulsní zdroje	$(\pm 0,01) - (\pm 0,02)$	$Ra = 2 - 6 \mu\text{m}$ $R_{\text{max}} = 8 - 25 \mu\text{m}$
jemné a velmi přesné obrábění, vysokofrekvenční zdroje, řezání drátovou elektrodou	$(\pm 0,005) - (\pm 0,01)$	$Ra = 0,8 - 2 \mu\text{m}$ $R_{\text{max}} < 6 \mu\text{m}$
elektroerozivní leštění, přesné řezání drátovou el.	až $\pm 0,002$	$Ra = (0,1); 0,2 - 0,8 \mu\text{m}$ $R_{\text{max}} < 2,5 - 4 \mu\text{m}$

3.2.6 Materiály nástrojových elektrod

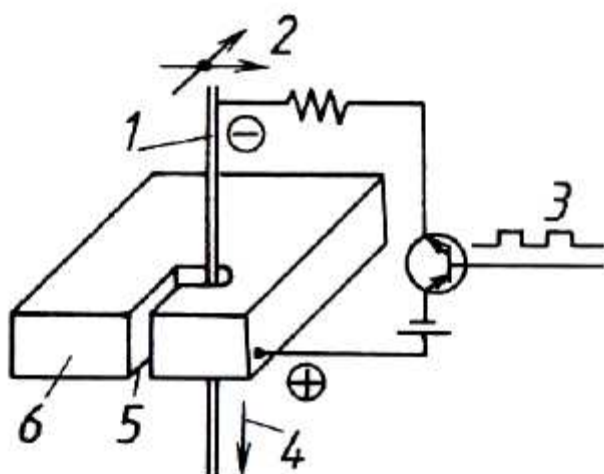
Při volbě materiálu elektrody je nutné, aby měl vysokou elektrickou vodivost, dobrou obrobiteľnosť, dostatečnou pevnosť a v neposlední řadě vysoký bod tavení. Tyto vlastnosti musíme brát v potaz, aby při práci nedocházelo k deformaci materiálu.

Tab. 2 Materiál elektrod

Grafit	Nejvíce používaný materiál, dobře obrobiteľný, má dobré charakteristiky opotřebení, nevýhodou je znečištění stroje.
Měď	Dobrá elektrická vodivost, příznivé charakteristiky opotřebení, není lepší než grafit. $Ra =$ lepší než $0,5 \mu\text{m}$
Wolfram – měď	Drahé, nákladné materiály, použití k výrobě např. hlubokých drážek.
Měď – grafit	Jde o grafit s mědi, je 1,5 až 2 krát dražší než grafit, vhodný pro obrábění karbidu wolframu.
Mosaz	Levný, snadno obrobiteľný, z hlediska opotřebení není výhodný.
Wolfram	Výroba malých děr menších než 0,2 mm.

3.3 Elektroerozivní drátové řezání

S prvními stroji pro řezání drátovou elektrodou vybavenými NC řízením přišla na trh firma AGIE. Mezinárodní značení elektrodrátového řezání je WEDM (Wire Eletrical Discharge Machining). Na obr. 16 je znázorněn princip drátového řezání [7] [8].



Obr. 16 Princip elektroerozivního drátového řezání [8]

- | | |
|-----------------------|---------------------------|
| 1 – drátová elektroda | 4 – směr posuvu elektrody |
| 2 – CNC řídicí systém | 5 – vyřezaná drážka |
| 3 – generátor | 6 – obrobek |

Drátovou nástrojovou elektrodu tvoří tenký drát, od vijící se za pomoci speciálního zařízení, aby nedocházelo k místnímu opotřebení drátu, tím pádem k zhoršení přesnosti rozměrů. Mezi drátovou elektrodou a obrobkem se vytvářejí elektrické výboje a ty způsobují pracovní mezeru, daný tvar i rozměr. Toto obrábění nám dovoluje vyrábět tvarové přímkové plochy (tvořící čarou těchto ploch je **přímka**) [4] [8].

Materiál na drátové elektrody se buď používá měď, na větší průměry i průřezy mosaz (např. Ø 0,25 mm). Na velmi jemné řezy dráty průměru 0,03 – 0,07 mm a vyrábějí se z materiálu molybden. Pro přesné obrábění složitých tvarů, používáme nástrojovou elektrodu, tvořenou drátem, který může odebírat materiál v každém směru. Celý proces nám umožňuje provádět CNC řídicí systém [8].

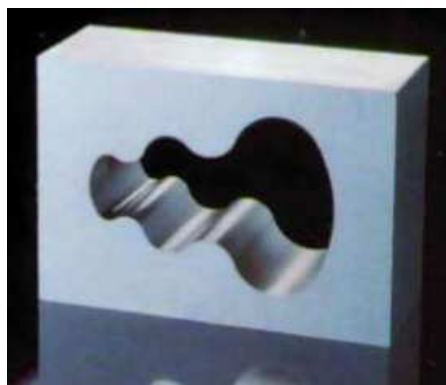
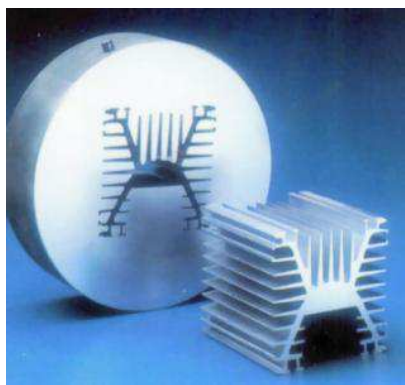
Drát musí splňovat požadavky [4]:

- vysoká elektrická vodivost
- dostatečná mechanická pevnost
- úzké tolerance rozměrů (průměr) a tvaru (kruhovitost)

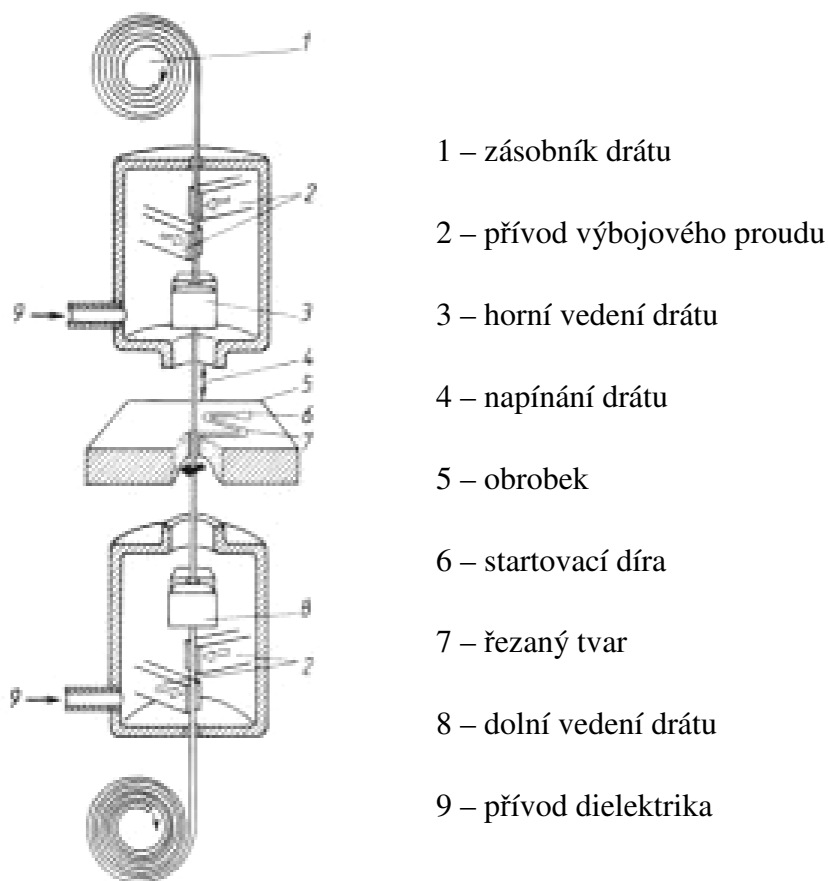
Aby vyřezaný tvar měl požadovanou přesnost je dáno:

- vlastností stroje
- spolehlivostí a přesností CNC řídicího systému
- čištění dielektrika

Je zapotřebí, aby drát do místa řezání vstupoval dokonale napnutý a vyrovnaný. Napínání a vedení drátu nám zaručuje systém vedení a podávání (obr. 18). Naklopení drátové elektrody vzhledem ke kolmé ose v rozsahu $\pm 30^\circ$ zajišťuje systém vedení a podávání [8].



Obr. 17 Příklady výrobku vyřezaných drátovou elektrodou [8]



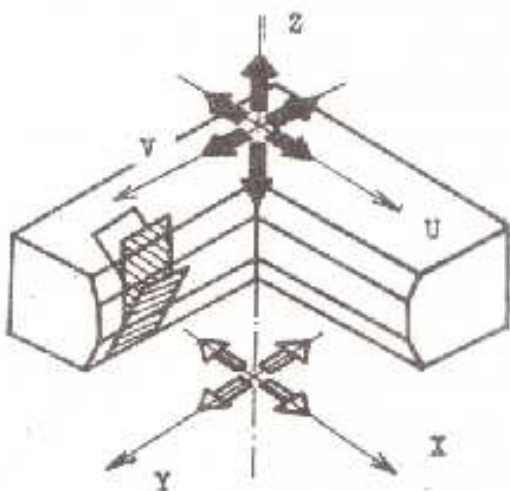
Obr. 18 Schéma vedení a podávání drátové elektrody [8]

Dosahované parametry [8]:

- maximální úběr materiálu $35 \text{ až } 200 \text{ min}^2 \cdot \text{min}^{-1}$
- jakost obrobeného povrchu $R_a = 0,15 \text{ až } 0,3 \text{ } \mu\text{m}$
- maximální tloušťka řezaného materiálu je 350 mm
- rovnoběžnost řezu do $2 \text{ } \mu\text{m}$ na 100 mm tloušťky materiálu
- přesnost tvaru a rozměru obrobeného povrchu závisí na tepelné stabilizaci stroje:
 - při kolísání teploty $\pm 3 \text{ } ^\circ\text{C}$ je přesnost $\pm 3 \text{ } \mu\text{m}$
 - při kolísání teploty $\pm 1 \text{ } ^\circ\text{C}$ je přesnost $\pm 1 \text{ } \mu\text{m}$



Obr. 19 Drátová řezačka Agie Classic 2S



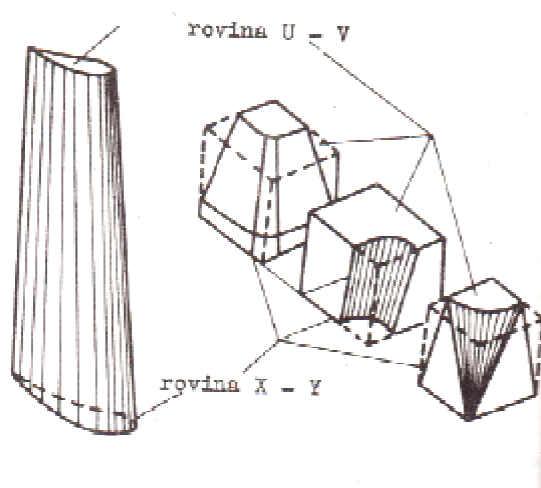
Obr. 20 Schéma 5 – ti osého systému, řízení v rovinách XY a UV [7]

Rovina XY – rovina spodní vodící části drátové elektrody

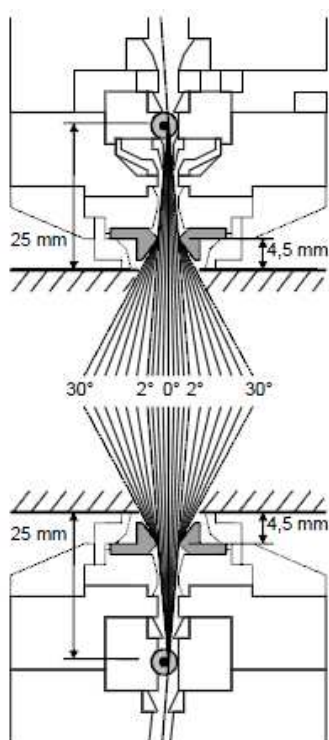
Rovina UV – rovina horní vodící části drátové elektrody

Osa Z – výškové nastavení hlavy (řezací mechanismus)

Stroje tohoto typu jsou schopni řezat kónické neboli úkosové tvary. Úkos se pohybuje v rozsahu $0 - 30^\circ$ dle typu stroje (obr. 22). V současnosti se používá řezání mimo běžných materiálů (např. nástrojové ocele) k obrábění polykrystalů diamantu na výrobu tvarových řezných nástrojů a ultravrdkých vodivých materiálů např. SiC, ZrB₂ [7].



Obr. 21 Příklady možných úkosových tvarů



Obr. 22 Kónicita řezu [9]

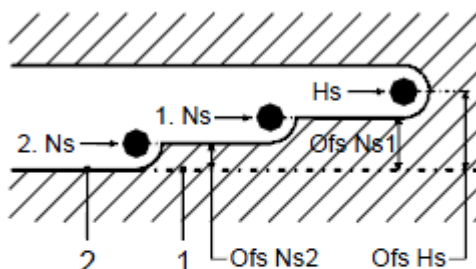
Až do kónicity 2° je drát veden oběma horními a dolními vedeními drátu, od 2° do 30° přebírají tuto funkci toroidy, které jsou umístěny blíže k dílci. Příslušné vzdálenosti k povrchu dílce jsou zřejmé z vedle uvedeného vyobrazení.

Numerické řízení provádí veškeré potřebné výpočty pro polohování os X, Y, U a V, přičemž se bere zřetel na přemístění vodičích bodů.

Dále se vypočítává dotykové místo mezi drátem a toroidem, jakož i různé prohnutí drátu v závislosti na průměru a materiálu.

Hrubovací řez a dočišťovací řezy

Příklad: Otvor



1 Programovaná geometrie

2 Dokončený povrch

Obr. 23 Jednotlivé řezy [9]

Hlavním řezem (Hs) je v prvním pracovním kroku vyříznut hrubý obrys z celého kusu materiálu. V průběhu tohoto procesu zůstane na místě několik desetin milimetrů nadbytečného materiálu jako rezerva stopy "Ofs". V případě obrábění kusu to znamená, že bude pořád větší než konečný tvar. V případě vyřezávání otvoru to musí být obráceně, tedy otvor musí být ještě malý. Prostředky dočišťovacích řezů (Ns), je tento nadbytečný materiál po vrstvách odstraňován a tak je obrobek dokončen do programovaného tvaru představujícího konečný vyráběný povrch.

Dočišťovací řezy také slouží k dosažení větší přesnosti řezání a hladšího povrchu, ale vyžadují delší čas řezání. Počet očišťovacích řezů je automaticky určen TECCUTem (databanka technologii) na základě parametrů kvality stanovených operátorem [9].

4. Návrh výroby vybraného střížníku

Výroba zvoleného střížníku proběhla za pomoci metody elektroerozivního drátového řezání na stroji Agie Classic 2S. Navržený střížník je znázorněn na **obr. 24**.

Materiál střížníku

Střížník byl vyroben z nástrojové rychlořezné molybden wolframové oceli 19 830 (1.3343). Ocel s větším důrazem na opotřebení. Patří mezi ocel pro práci za studena. Tvrdost materiálu se pohybuje okolo 64 HRC. Stabilita řezných vlastností až do teplot 650°C.

Vlastnosti:

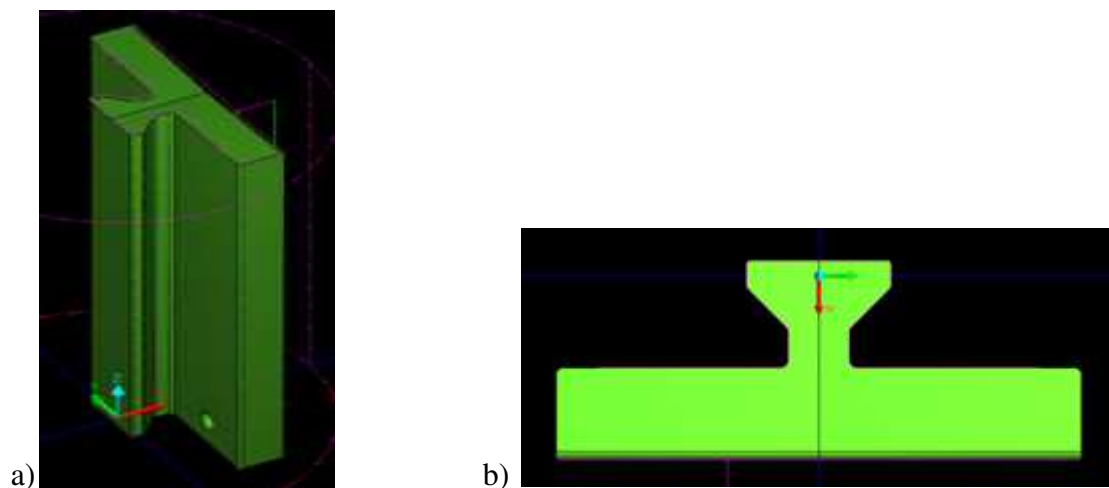
- vysoká odolnost proti popouštění v kombinaci s vysokou houževnatostí
- značná odolnost proti opotřebení

Použití:

- značně namáhané nástroje k obrábění materiálů střední a vyšší pevnosti
- obrážecí nože na ozubení, frézy, vrtáky a závitníky
- protlačovací a protahovací trny
- střížné nástroje pro práci za studena i za tepla
- ocel je vhodná k povlakování např. nitridem titanu

Chemické složení [%] oceli 19830

C	Mn	Si	Cr	Mo	V	W	P	S
0,80- 0,90	0,45	0,45	3,80- 4,60	4,50- 5,50	1,50- 2,20	5,50- 7,00	0,035	0,035



Obr. 24a)b) Střížník

Použitý drát AC Brass LP 900

Ve firmě Fortell s.r.o. se používá k řezání mosazný drát (Cu 63% Zn 37%) značky AC Brass LP 900 o pevnosti v tahu 900 N/mm^2 , průměru 0,25 mm a velikosti cívky 16 kg (označení cívky K200).

Tento drát je vyroben z velmi čisté slitiny pomocí hospodárného výrobního postupu. Doporučuje se pro všechna standardní obrábění, kde je vyžadována dobrá kvalita. Použitelnost drátu pro všechny dostupné elektroerozivní stroje.

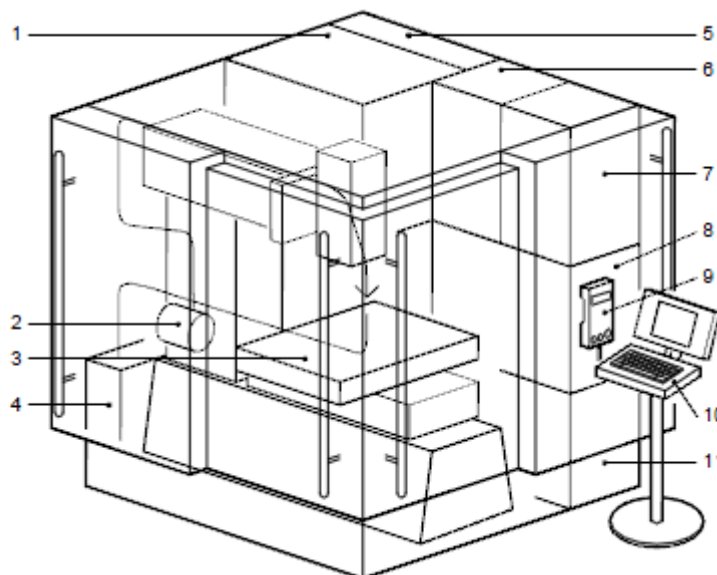
Elektroerozivní stroj - Agie Classic 2S

Technické údaje stroje [9]:

- | | |
|-----------------------|--------------------|
| • přejezdy os X,Y,Z | 350 x 250 x 256 mm |
| • přejezdy os U,V | ± 70 mm |
| • max. kónicita | 30° na 100 mm |
| • průměr drátu | 0,2 až 0,33 mm |
| • cívka drátu | až 16 kg |
| • objem nádrže | 550 litrů |
| • vyplachování – tlak | 0,2 až 18 barů |

Popis zařízení

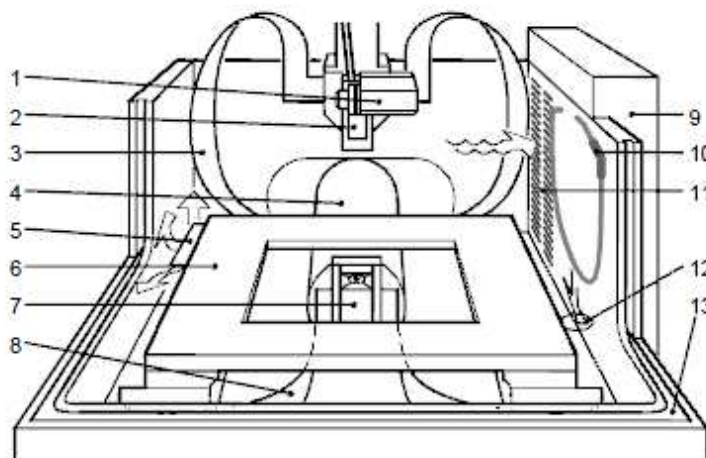
- 1 Impulzní generátor
- 2 Systém drátu
- 3 Pracovní prostor
- 4 Zásobník použitého drátu
- 5 Řízení os
- 6 Napájení
- 7 Numerické řízení
- 8 Agregát dielektrika
- 9 Ruční ovládací panel
- 10 Ovládací konzola obsluhy
- 11 Zásobník dielektrika



Obr. 25 Elektroerozivní stroj [9]

Pracovní prostor

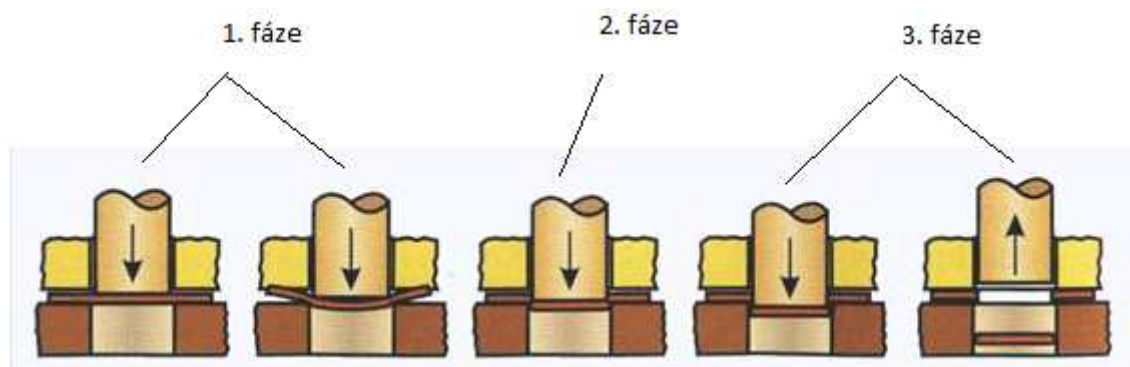
- 1 Pistole pro vyplachování pracovního prostoru (na levé straně zařízení)
- 2 Brzda pro regulaci napnutí drátu
- 3 Horní vodící hlava
- 4 Uzemňovací pásy mezi horním raménkem a upínací deskou dílce
- 5 Dolní raménko
- 6 Výpust dielektrika
- 7 Dolní vodící hlava
- 8 Upínací deska dílce
- 9 Uzemňovací pásy mezi dolním raménkem a upínací deskou
- 10 Pohyblivé stěny vany (dveře).
- 11 Rukojeť ovládání otevření, uzavření a spuštění pohyblivé stěny vany (dveře).
- 12 Lamelová dvířka



Obr. 26 Pracovní prostor stroje [9]

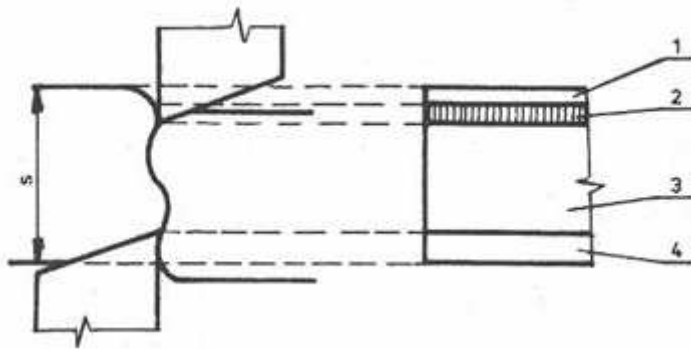
Stříhání

Stříhání patří mezi nejrozšířenější operace v tváření. Je určeno pro dělení materiálu. Lze použít jak na přípravu polotovaru (stříhání tabulí, svitků plechu), tak na vystřihování součástí z plechu, a to buď pro konečné použití, nebo pro další technologie (tažení, ohýbání). Tento proces probíhá ve 3 fázích a je zobrazen na obr. 27 [10] [11].



Obr. 27 Princip stříhání [10]

1. **fáze** = dosednutí střižníku a následuje pružná deformace (vnikání střižníku do materiálu)
2. **fáze** = dochází k trvalé plastické deformaci (hloubka vniknutí bývá 10 až 25% síly stříhaného materiálu)
3. **fáze** = napětí dosáhne meze pevnosti ve stříhu (τ_s), v prvním kroku nastane **nástřih** (vznik trhlinek) a následuje **střih** (výstřižek)



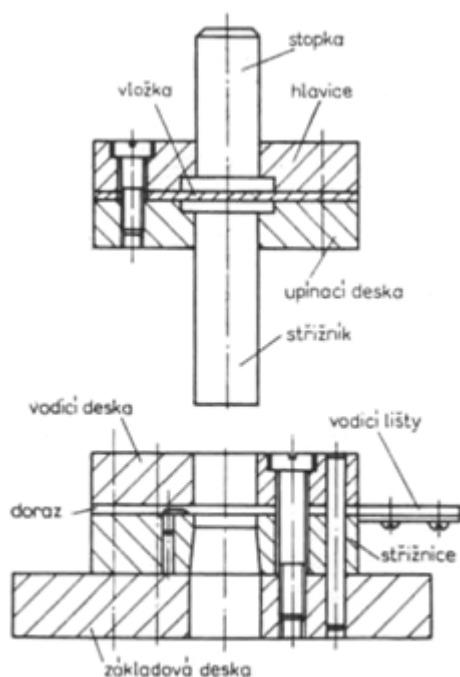
Obr. 28 Deformační pásma stříhání [10]

1. pásmo zaoblení (elastická deformace)
2. pásmo utržení
3. pásmo smyku (plastická deformace)
4. pásmo odtlačení

Podle konstrukce (tvaru) střižníku lze rozdělit stříhání na:

- stříhání rovnoběžnými střižníky
- skloněnými (šikmými) střižníky
- kotoučovými (kruhovými) střižníky

V tomto případě jde o střížník, který patří do skupiny stříhání rovnoběžnými střížníky. K tomuto procesu potřebujeme tzv. střížný nástroj. Mezi hlavní komponenty patří střížník a střížnice mezi kterými se nachází střížná vůle. Vůle je určena k tomu, aby se předcházelo haváriím. Optimální vůle je důležitá na kvalitní výstřižek v závislosti na tloušťce materiálu a pevnosti materiálu (větší pevnost = větší vůle).



Obr. 29 Příklad střížného nástroje [12]

5. Diskuse experimentu

Při výrobě střížníku použijeme technologii na čtyři řezy, aby byla docílena požadovaná kvalita povrchu (Ra 0,3). První hlavní řez je hrubovací (vytváří tvar), který řeže do plného materiálu. Druhý a třetí řez se chová jako dohrubovací řez. Poslední čtvrtý je na čisto, zhotovuje rozměr a povrch.

Při nevhodném nastavení parametrů může dojít:

- 1) k přetržení drátu, přeruší se obrábění a dojde k zastavení stroje
- 2) tvar bude mít špatný rozměr (malý nebo velký)

Značení řezů dle Agie:

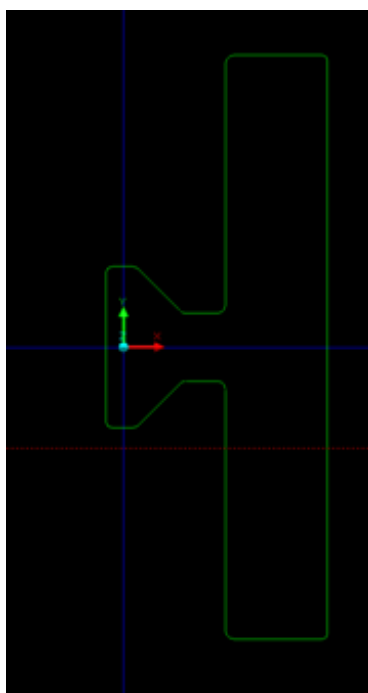
- | | |
|--------|------------------------------|
| 1. řez | Trim (hlavní řez hrubovací) |
| 2. řez | Trim1 (následný řez číslo 1) |
| 3. řez | Trim2 (následný řez číslo 2) |
| 4. řez | Trim3 (následný řez číslo 3) |

5.1 Zhotovení programu

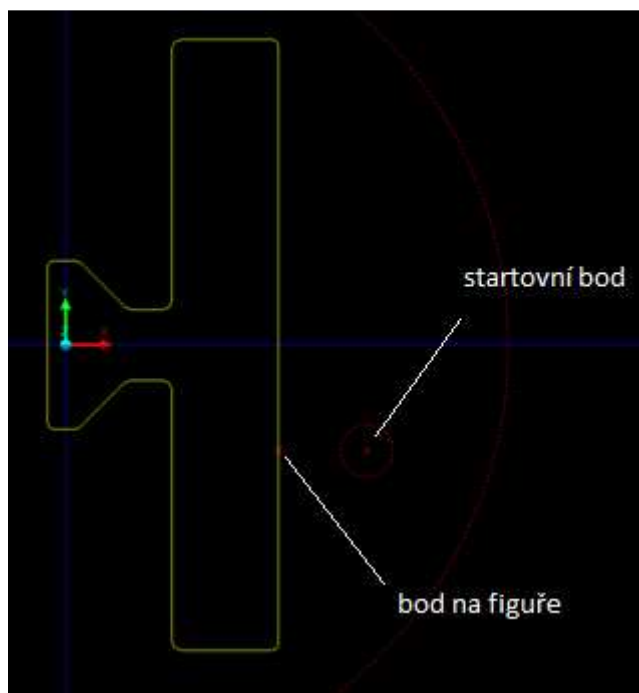
Program na zhotovení navrženého střížníku byl zhotoven v systému PEPS 7.0.22. Umožňuje kreslení kontur neboli různých tvarů bez použití modelů pomocí konstrukčních přímek, kružnic a dalších prvků. V dnešní době pro zrychlení výroby, snížení chyb v zadávání hodnot rozměrů a hlavně kvůli složitosti tvaru součástí se používá model.

V prvním kroku si importujeme model střížníku do systému. Umístíme na zvolené místo podle svého uvážení. Provedeme projekci obrysu, kde se nám zobrazí požadovaný tvar (zelené označení obr. 32). Vytvoříme tzv. figuru (žluté označení obr. 33) zvolíme startovní bod a bod na figuře. V druhém kroku zhotovíme obrábění – nastavení polotovaru, tloušťku materiálu, materiál obrobku, technologii, velikost můstku (udává se podle

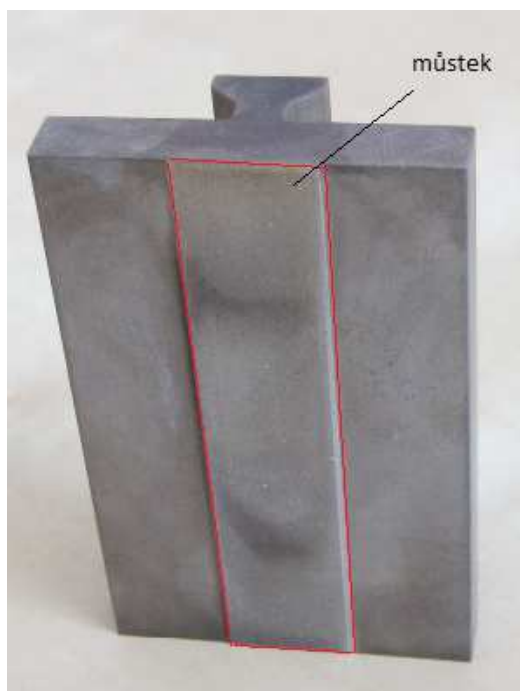
velikosti součásti) a střížná vůle. V posledním třetím kroku odešleme vygenerovaný program do stroje.



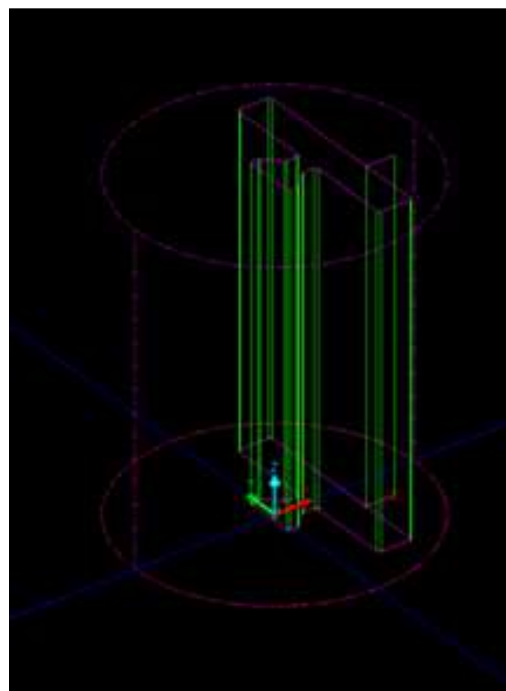
Obr. 32 Projekce obrysu



Obr. 33 Figura



Obr. 34 Můstek



Obr. 35 Vytvořené obrábění

5.2 Obrábění - výroba

Při stahování programu nám stroj podle výšky obrobku automaticky vybere z databanky nejvhodnější technologii. Upravíme parametry technologie, a to výkon (P), výplach (p), protože bez upravení těchto parametrů by praskal drát.

Zadané parametry:

	Ofs	P	I	v	Str	p	Fw	Aw
Trim	261	25	18	0,8	3	10	17	165
Trim1	171	34	14	2,4	1	0,3	20	165
Trim2	141	20	11	2,6	5	0,3	20	120
Trim3	131	35	5	3,0	3	0,3	20	90

Dosahované časy:

Trim	Trim1	Trim2	Trim3	T_{celkem}
1:57:32	0:30:18	0:45:56	0:41:12	3:54:58

Výsledný čas procesu činí 3 hodiny 54 minut 58 sekund.



Obr. 36 Střižník



Obr. 37 Střižník

Než nastane vlastní proces řezání, musíme si připravit startovací otvor. Ten zhotovíme za pomoci vyjiskřovačky (značka Agie).



Obr. 38 Proces vyjiskřování

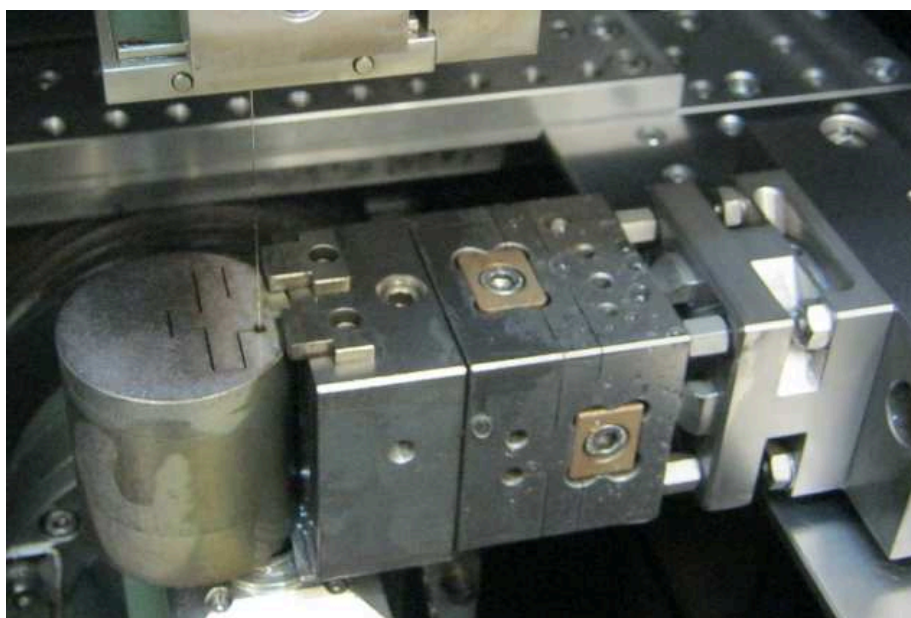


Obr. 39 Vyjiskřovačka Agiedrill

Na obrázku 40 a 41 je znázorněno upínání polotovaru a následný vyřezaný střížník, který je upevněn na můstku.



Obr. 40 Upnutí polotovaru



Obr. 41 Vyřezaný střížník

5.3 Technologický postup

V tabulce 3 je popsán výrobní postup střížníku.

Tab. 3 Technologický postup

Technologický postup	Součást: Střížník	Materiál: 19 830
	Počet kusů: 1	Polotovár: Ø 50x57 mm
Číslo operace	Pracoviště	Popis operace
1	pásová pila (Pilous AGR 240)	Uříznout polotovár na rozměr 57 mm.
2	soustruh (SN 32)	Zarovnat čela a soustružit na rozměr 55,3 mm.
3	kalírna	Kalit na 60 +2 HRC
4	bruska naplocho (BPH 20 NA)	Zabrousit z obou stran na rozměr 55,00 mm.
5	elektroerozivní pracoviště – vyjiskřovačka (Agiedrill)	Zhotovit startovací otvor o Ø 3 mm.
6	elektroerozivní pracoviště – WEDM (Agie Classic 2S)	Zhotovit požadovaný střížník dle výkresu.
7	bruska naplocho (BPH 20 NA)	Zabrousit můstek.

5.4 Výpočet

Potřebné údaje k jednotlivým výpočtům:

- | | |
|-------------------------------------|---|
| • 16 kg cívka | 37000 m drátu |
| • cena za 1 kg drátu Brass | 190 Kč |
| • průměrná rychlost drátu (v_p) | $2,2 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1} = 132 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1} = 0,132 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ |
| • hodinová sazba eroze | 750 Kč |
| • čas | 3 h 54 m 58 s = 14 098 s |

Dráha drátu

$$s = v_p \cdot t$$

$$s = 0,132 \cdot 14\,098$$

$$s = 1860,94 \text{ m}$$

Hmotnost spotřebovaného drátu

$$m_{\text{spotřeba}} = s \cdot m_{1\text{m}}$$

$$m_{\text{spotřeba}} = 1860,94 \cdot 0,00043$$

$$m_{\text{spotřeba}} = 0,8 \text{ kg}$$

Hmotnost 1m drátu

$$m_{1\text{m}} = m_{\text{cívka}} / s_{\text{cívka}}$$

$$m_{1\text{m}} = 16 / 37000$$

$$m_{1\text{m}} = 0,00043 \text{ kg}$$

Cena spotřebovaného drátu

$$d_{\text{spotřeba}} = m_{\text{spotřeba}} \cdot d_{1\text{kg}}$$

$$d_{\text{spotřeba}} = 0,8 \cdot 190$$

$$d_{\text{spotřeba}} = 152 \text{ Kč}$$

Zjištěné hodnoty:

$$3\text{h} = 2250 \text{ Kč}$$

$$\text{Dráha drátu} - 1860,94 = \underline{1861} \text{ m}$$

$$54 \text{ min} = 675 \text{ Kč}$$

$$\text{Hmotnost 1m drátu} - \underline{0,00043} \text{ kg}$$

$$58 \text{ sec.} = 12,064 \text{ Kč}$$

$$\text{Hmotnost spotřebovaného drátu} - \underline{0,8} \text{ kg}$$

$$\text{Cena spotřebovaného drátu} - \underline{152} \text{ Kč}$$

$$\text{Cena střižníku} - \underline{2937,064} \text{ Kč}$$

6. Technicko – ekonomické zhodnocení

Navržený střížník byl zhotoven na elektroerozivním drátovém stroji, kde byla použita technologie na čtyři řezy. Při takto nastavených parametrech stroje dosáhneme celkového času 3 hodin 54 minut 58 sekund. Během řezání bylo spotřebováno 0,8 kg drátu při délce řezu 1861 m za cenu 152 Kč. Cena vyrobeného střížníku činí 2937 Kč. Jinými technologiemi by výroba stejného střížníku byla neproduktivní, neekonomická a příliš složitá.

7. Závěr

Strojírenství jako takové je nedílnou součástí hospodářského procesu utváření země, a proto je dnes kladen velký důraz na kvalitu, přesnost výroby a časovou náročnost.

V diplomové práci práce je popsána nekonvenční metoda - elektroerozivní obrábění, její princip, časový průběh jednotlivých výbojů, proudů a napětí, přesnost a drsnost obrábění. Seznámení s elektrodrátovým řezáním, jak funguje, popis zařízení, jaké dráty se používají atd.

Další části jsou zaměřeny na výrobu střížníku, vytvoření programu, upínání polotovaru a dosažené časy při vlastním procesu řezání. V poslední řadě proběhlo technicko – ekonomické zhodnocení, které pojednává o zjištěném výrobním čase střížníku, o množství spotřebovaného drátu a ceně jak za spotřebovaný drát, tak za vyrobený střížník. Bylo zmíněno, že jiné technologie pro zhotovení složité součástky tohoto typu jsou nevhodné.

8. Seznam literatury

- [1] Hluchý, Miroslav; Kolouch, Jan. *Strojírenská technologie 1 – 1. díl, nauka o materiálu*. Vydalo nakladatelství Scentia, s.r.o., Křížova 1018/6, 150 05 Praha 5 – Smíchov, 2007, 266 s, 4. vydání. ISBN 978 – 80 – 86960 – 26 – 5.
- [2] Vigner, M.; Přikryl, Z. A kolektiv. *Obrábění*. Státní nakladatelství technické literatury, n. p., Praha 1, Spálená 51, 1984, 808 s. 04-250-84.
- [3] Fortell s.r.o., [cit. 2014-03-26]. Dostupné z WWW: <http://www.fortell.cz>
- [4] Mádl, Jan; Kafka, Jinřich; Vrabec, Martin. *Technologie obrábění. Nekonenční metody obrábění. 3. díl*. Vydavatelství ČVUT, Zikova 4, Praha 6, 2000, 88 s.
- [5] Řasa, Jaroslav; Kerečaninová, Zuzana. *Nekonenční metody obrábění. MM Průmyslové spektrum* [online]. 19. července 2007, 7, strana 60, [cit. 2014-03-26]. Dostupný z WWW:<<http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonencnimetodyobrabeni.html>>.
- [6] Bilík, Oldřich. *Obrábění I. Nekonenční technologie obrábění. 2. díl*. Katedra obrábění a montáže. Editační středisko VSB-TU Ostrava, 2002.
- [7] Barcal, Jaroslav. *Nekonenční metody obrábění*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 1989. 122 s.
- [8] Řasa, Jaroslav; Pokorný, Přemysl; Gabriel, Vladimír. *Strojírenská technologie 3 - 2. díl, Obráběcí stroje pro automatizovanou výrobu, fyzikální technologie obrábění. Nekonenční metody obrábění*. Vydala Scientia, spol. s.r.o., pedagogické nakladatelství, Radimova 37/50, 169 00 Praha 6 – Břevnov, 2001, 220 s, 1. vydání. ISBN 80-7183-227-8.
- [9] Agie, příručka pro uživatele, Agie CH – 6616 Losone Switzerlad, 2000.
- [10] http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm#063

[11] Forejt, Milan; Píška, Miroslav. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Vysoké učení technické v Brně, fakulta strojního inženýrství. Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno. 2006, 225 s, 1. vydání. ISBN 80 – 214 – 2374 – 9.

[12] <https://www.google.cz/search?q=obrázek+střížného+nástroje>